

引 用 格 式: Xu Qingyun, Gu Weiwei, Xie Tao, *et al.* Crop Straw Fire Remote Sensing Monitoring and Its Algorithm Implementation[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2017, 32(4): 728-733. [许青云, 顾伟伟, 谢涛, 等. 秸秆焚烧火点遥感监测算法实现[J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(4): 728-733.]
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2017.4.0728

秸秆焚烧火点遥感监测算法实现

许青云^{1,2}, 顾伟伟^{1,2}, 谢 涛^{1,2}, 刘 锐^{1,2}
(1. 中科宇图科技股份有限公司, 北京 100101;
2. 中科宇图(北京)资源环境科学研究有限公司, 北京 100101)

摘要: 为了获取华中区域的秸秆焚烧火点空间分布信息, 实现对该区域秸秆焚烧的有效管控, 以 2014 年 MODIS L1B 遥感数据为主要数据源, 结合土地利用类型数据, 以华中的农田为研究区域, 基于增强型上下文火点遥感影像识别方法, 充分利用定量遥感的理论知识及地理空间数据抽象库 (GDAL) 等技术手段, 实现了华中区域秸秆焚烧火点的识别。利用中华人民共和国环境保护部发布的全国秸秆焚烧火点日报和 MODIS 标准火点产品 (MYD14) 进行空间和定量上的对比分析。研究结果表明, 该算法能够有效地进行研究区域的秸秆焚烧火点遥感监测, 并且可以依据研究区域的特点进行参数的实时调整, 提高了秸秆焚烧火点提取的自动化和工作效率。

关 键 词: MODIS; 秸秆焚烧火点; 遥感; GDAL

中图分类号: X 87; TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2017)04-0728-06

1 引 言

中国是农业大国, 秸秆资源丰富^[1-2], 由于中国地域广阔的特点, 分布在不同地域的农作物, 其物候期都不尽相同。华中区域的农作物大部分是小麦、玉米和水稻, 收获期的频发时段主要是 6 月中旬和 9 月下旬及 10 月上旬^[3]。农作物秸秆是一种重要的生物质资源, 可做饲料、燃料及食用菌种植的原料等, 但是由于中国经济快速发展, 生活方式的改变使得秸秆利用价值低, 且处理费时费力。因此, 导致在农作物收获期间, 秸秆焚烧现象越发严重且难控制。大面积秸秆焚烧会释放大量的氮氧化物和烟尘等污染物, 影响人们正常生活, 并且野外焚烧秸秆已经成为秋冬季霾形成的原因之一。近年来, 各个省市的环保部门都加大了对于秸秆焚烧的监管力度, 制定了多种奖惩措施, 但其首要环节既是对秸秆焚烧的监测^[4]。

针对目前环境监管能力的高效化和科学化的这种形式, 以往依靠人力去现场监察秸秆焚烧火点的方式已经不能满足要求, 随着卫星遥感技术和计算机技术的高速发展, 使得快速、大范围和自动化监测秸秆焚烧火点现象成为可能。利用国内外的遥感卫星进行火点的提取已有很深入的研究, 利用国外的卫星进行火点反演主要有 Prins 等^[5] 基于 GOES 卫星上的多光谱成像仪 VAS (VISSR Atmospheric Sounder) 数据利用 ABBA 算法 (Automated Biomass Burning Algorithm) 监测火点, Li 和 Pu 等^[6-8] 基于 NOAA/AVHRR 数据利用单通道阈值算法、多通道阈值算法和背景对比法监测火点。Louis 和王子峰等^[9-10] 基于 MODIS 数据利用上下文火点探测方法进行火点识别。利用国内的卫星进行火点反演主要有 Zhang 等^[11] 基于 FY-1C/1D 数据利用背景对比法和人工目视判读相结合的方法提取火点。王桥^[12]、田庆久等^[12-13] 基于 HJ-1B 数据通过设定阈

收稿日期: 2016-05-03; 修订日期: 2017-06-06
基金项目: 广东省省级科技计划项目 (2014A010101151)。
作者简介: 许青云 (1989—), 女, 北京人, 硕士, 工程师, 主要从事遥感技术应用研究及遥感影像应用开发工作。
E-mail: nishang_dale@126.com。

值进行秸秆焚烧火点的判定。MODIS 是“图谱合一”的光学遥感仪器,具有 36 个观测通道,且仪器的特征参数从设计上考虑到了火灾监测。相对于 AVHRR,MODIS 的仪器专门对高温敏感的波段做了优化,能更真实、更详细地反映秸秆焚烧的现状^[14]。传统阈值提取火点的方法往往受到区域和季节等因素的限制,在业务流程中短时间内选出合适的阈值往往很困难,基于上下文火点识别方法是建立在相对的上下文信息上而不是绝对的一个阈值,自适应性强,能够在不同的环境下自动识别和监测火点信息,业务化运行程度高^[15]。对前人的研究成果进行整理分析,取其优点并结合能够实现业务化自动运行提取秸秆焚烧火点的特点,最终确定基于 MODIS 数据利用增强型上下文火点识别方法进行秸秆焚烧火点的提取。

本文以 2014 年 10 月的 MODIS L1B 数据为数据源,利用上下文火点监测方法并结合研究区域土地覆盖分类数据对研究区域的秸秆焚烧火点进行提取。最后利用中华人民共和国环境保护部发布的全国秸秆焚烧火点日报和 MODIS 标准火点产品(MYD14)的提取结果进行空间与定量上的验证。

2 研究区域和数据源

2.1 研究区概况

研究区域涵盖了华中区域及周边的省市,经纬度范围为 $25.959^{\circ}\sim 38.154^{\circ}\text{N}$, $105.026^{\circ}\sim 118.207^{\circ}\text{E}$ 。主要涵盖了河南省和湖北省,并包含了陕西省、山东省、湖南省、江西省和安徽省的大部分区域。该区域地势平坦,多为平原,土壤肥力高,土层深厚,并且雨热同季,光热资源充足,主要粮食作物为小麦,其次是玉米和稻谷,多为一年两季或一年三季庄稼,作物成熟的物候期主要在每年的 6 月中旬和 9 月下旬及 10 月上旬,这个期间也正是秸秆焚烧多发时段,该区域的农作物秸秆产量约占全国的 1/3 左右,因此选择此区域为本文的研究区域。

2.2 数据源

2.2.1 MODIS 数据

本文使用的 MODIS (MOD021KM/MOD03/MYD021KM/MYD03)数据是由美国国家航空航天局(NASA)官网(<https://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>)提供的,空间分辨率为 1 km 的 L1B 数据产品及地理定标数据,格式为 EOS-HDF。根据秸秆的多发期以及秋冬季节雾霾严重等特点综合考虑后,最终确定数据选择的时间跨度

为 31 d(2014 年 10 月)。

2.2.2 土地利用类型数据

本文使用的土地利用类型数据来自于清华大学的 Finer Resolution Observation and Monitoring-Global Land Cover(<http://data.ess.tsinghua.edu.cn/>)网站,此分类图应用 Landsat TM/ETM+ 遥感影像和 2010 年的 MODIS 时间序列数据基于 FROM-GLC^[16]、FROM-GLC-seg^[17] 以及 FROM-GLC-agg 方法得到。

2.2.3 验证数据集

本文采取了空间和定量两方面对秸秆焚烧火点监测结果进行验证,空间方面的验证数据采用中华人民共和国环境保护部发布的全国秸秆焚烧火点日报(<http://hj.mep.gov.cn/jgjs/>);定量方面的验证数据集是采用了 NASA 官网(<https://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>)的 MODIS 标准火点产品数据(MYD14)。

3 研究方法

3.1 研究原理

秸秆焚烧火点的监测原理是基于维恩位移定律,黑体电磁辐射能流密度的峰值波长与自身温度之间成反比。因此基于此原理,常温地物热辐射能量的峰值位于长波红外波段,随着温度升高,热辐射的峰值向波长较短的波段移动,一个显著特征就是中红外波段的辐射能量高于常温地物。通过遥感观测的辐射能量可以计算物体的亮度温度,一般秸秆焚烧的温度为 $500\sim 1\,000\text{ K}$,按照其辐射能量应该主要集中于 $2.8\sim 5.7\text{ }\mu\text{m}$ 中红外附近,远高于常温物体(300 K)在这一光谱区域的辐射。因此,通过火点像元与背景像元之间的差异性,以及火点不会发生于水体中间等关键性因素就可以探测火点区域。

3.2 数据预处理

3.2.1 MODIS 数据预处理

MODIS 数据共有 36 个波段,本算法中所用的通道主要是 1($0.65\text{ }\mu\text{m}$)、2($0.86\text{ }\mu\text{m}$)、7($2.1\text{ }\mu\text{m}$)、21($4.0\text{ }\mu\text{m}$)、22($4.0\text{ }\mu\text{m}$)、31($11.0\text{ }\mu\text{m}$)和 32($12.0\text{ }\mu\text{m}$),为了考虑模型的运算速度和资料的有效分配,因此只需读取所需波段的数据进行辐射校正和几何校正,提取所需的可见光、近红外波段的表现反射率及中红外、热红外波段的表现辐射亮度,并基于普朗克定律将中红外、热红外波段的表现辐射亮度转换为表现亮度温度。

本模型中利用的亮度温度为 MODIS 数据的

4 μm 和11 μm 通道,在本文算法描述中分别以 T_4 和 T_{11} 表示。MODIS 仪器有两个4 μm 通道(21和22),由于考虑到22波段噪声少且质量错误少等优点,最终选择22波段作为 T_4 ,但是当22波段有数据缺失就会用21波段来替代。12 μm 通道被用于云掩膜,这个通道的亮度温度以 T_{12} 表示。250 m分辨率的0.645 μm 红色通道和0.858 5 μm 近红外通道,统一分辨率为1 km,被用于进行太阳耀斑、水体边缘影响的去除以及云监测等功能,它们的反射率分别以 $\rho_{0.65}$ 和 $\rho_{0.86}$ 表示。500 m分辨率的2.1 μm 短波红外通道,以 $\rho_{2.1}$ 表示。

3.2.2 土地利用类型数据预处理

本文对TM 30 m分辨率的土地覆盖分类数据进行拼接、研究区矢量边界裁剪和重采样(1 km)等预处理,最后提取研究区域耕地。

3.3 云和水体像元识别及剔除

MODIS 数据是光学遥感数据,受云的影响,又由于在水体中无法有火点的特点,在进行火点识别之前需要进行云和水体像元的检测和剔除。

首先利用海陆掩码文件进行海陆分离,然后参照 The Global Fire Product^[18]的方法并依据研究区域的特点进行参数的调整,实现云的识别。夜晚云的判别条件为 $T_{12} < 265$;白天云的判别条件为 $(\rho_{0.65} + \rho_{0.86}) > 0.9 \cup (T_{12} < 265) \cup ((\rho_{0.65} + \rho_{0.86}) > 0.7 \cap T_{12} < 285)$ 。

3.4 秸秆焚烧火点提取

基于增强型上下文对比算法主要是建立在火点像元与其上下文像元的温度差异,但是满足这种差异性的像元也有可能是耀斑或混合像元等,因此满足一定条件的像元并非都是真实火点,有虚假火点的可能性,需要在判别潜在火点之后进行虚假火点的剔除。

3.4.1 潜在火点判别

潜在火点判别的目的是为了去除明显不是火点的像元。通过像元在热红外波段的亮度温度、中红外波段(4 μm)与热红外波段(11 μm)的亮度温度的差、红波段的表观反射率的阈值来确定潜在火点像元与非火点像元。由于白天与晚上地表温度的差异性,因此判别潜在火点时对于白天和夜晚需要分别考虑。白天的判定条件为公式(1)所示,晚上的判定条件为公式(2)所示。

$$(T_4 > 310) \cap (T_{\Delta T} > 10) \cap (\rho_{0.65} < 0.3) \quad (1)$$

$$(T_4 > 305) \cap (T_{\Delta T} > 10) \quad (2)$$

其中: $\Delta T = T_4 - T_{11}$ 。

白天判定的潜在火点如果满足 $T_4 > 340$,那么就可以判定为暂定火点;晚上判定的潜在火点如果满足 $T_4 > 320$,那么就可以判定为真实火点。其他不满足条件的潜在火点需进入背景阈值测试过程,进一步加以判别。

3.4.2 潜在火点背景阈值测试

依据火点像元与其周围背景像元的差异性来进一步判断剩余潜在火点是否为暂定火点(白天)和真实火点(夜晚)。白天满足 $(T_4 > 325) \cap (\Delta T > 20)$ 条件的像元为背景火点像元;晚上满足 $(T_4 > 310) \cap (\Delta T > 10)$ 条件的像元为背景火点像元,不满足上述条件的像元为有效背景像元。通过窗口统计进行背景像元温度特效的统计,窗口起始大小为 3×3 ,若有效背景像元不够,则增大窗口(变为 5×5 、 7×7 …… 21×21)并继续进行上述分类和统计,直到窗口中有足够的有效背景像元。如果有效背景像元数量满足窗口内总像元数的25%,且多于8个,则统计窗口的背景像元温度特性。如果当 $N = 21$ 时仍未选出足够有效背景像元,则该潜在火点被标识为不确定类型。

如果上述背景火点像元和有效背景像元温度特性被成功提取,则通过潜在火点的温度特性与背景窗口中无火的背景有效像元的差异,进行多个阈值条件的判别,来进一步判定白天潜在火点像元中的暂定火点像元和夜晚火点像元中的确定火点像元。判别条件如下所示:

$$\Delta T > \overline{\Delta T} + 3.5 \times \overline{\delta_{\Delta T}} \quad (3)$$

$$\Delta T > \overline{\Delta T} + 6 \quad (4)$$

$$T_4 > \overline{T_4} + 3 \times \overline{\delta_4} \quad (5)$$

$$T_{11} > \overline{T_{11}} + \overline{\delta_{11}} - 4 \quad (6)$$

$$\delta'_4 > 5 \quad (7)$$

式(3)~(7)中, $\overline{T_4}$ 为4 μm 波段有效背景像元亮度温度的均值; $\overline{\delta_4}$ 为4 μm 波段有效背景像元亮度温度的平均绝对偏差; $\overline{T_{11}}$ 为11 μm 波段有效背景像元亮度温度的均值; $\overline{\delta_{11}}$ 为11 μm 波段有效背景像元亮度温度的平均绝对偏差; $\overline{\Delta T}$ 为4 μm 和11 μm 两波段亮度温度差值的有效背景像元的均值; $\overline{\delta_{\Delta T}}$ 为4 μm 和11 μm 两波段亮度温度差值的有效背景像元的平均绝对偏差; δ'_4 为4 μm 波段背景火点像元亮度温度的平均绝对偏差。

如果上述条件在白天满足公式(3)~(5)为真且公式(6)为真或公式(7)为真的条件,则潜在火点被标识为暂定火点,在夜晚满足公式(3)~(5)为真的条件,则

潜在火点被标识为火点,否则被标识为非火点。

3.4.3 虚假火点去除

虚假火点主要是由太阳耀斑、沙漠边缘和水岸地带等引起的噪声,这些虚假火点会对火点的监测结果产生误判,因此需要进行虚假火点的去除。

(1) 太阳耀斑去除。首先计算火点像元的耀斑角:

$$\cos\theta_g = \cos\theta_v \cos\theta_s - \sin\theta_v \sin\theta_s \cos\varphi \quad (8)$$

其中: θ_g 为火点像元的耀斑角; θ_v 、 θ_s 和 φ 分别表示观测天顶角、太阳天顶角和相对方位角。

判别太阳耀斑的阈值条件如下:

$$\theta_g < 2^\circ \quad (9)$$

$$(\theta_g < 8^\circ) \cap (\rho_{0.65} > 0.1) \cap (\rho_{0.86} > 0.2) \cap (\rho_{2.1} > 0.12) \quad (10)$$

$$(\theta_g < 12^\circ) \cap (N_{aw} + N_w) > 0 \quad (11)$$

其中: N_{aw} 为目标火点像元最临近的 8 个像元中水体像元的个数; N_w 为统计窗口中水体像元的个数。如果目标火点像元满足上述中条件之一,则被视为太阳耀斑引起的虚假火点。

(2) 沙漠边缘虚假火点去除。上下文算法中,在具有辐射突变地面,会引起火点像元的少判或多判。少判是由于边界火点可能由于边界增强了背景的变化程度而没被识别出。多判是由于非火点沿着沙漠的热边界被不正确地当作是背景火点,降低背景变化程度所引起,通常多判的比例较高。针对沙漠边缘的辐射特点设置识别虚假火点的阈值条件。

$$N_f > 0.1N_v \quad (12)$$

$$N_f \geq 4 \quad (13)$$

$$\rho_{0.86} > 0.15 \quad (14)$$

$$\overline{T_4} < 345K \quad (15)$$

$$\overline{\delta_4} < 3 \quad (16)$$

$$T_4 < \overline{T_4} + 6\overline{\delta_4} \quad (17)$$

其中: N_f 为统计窗口中背景火点的个数; N_v 为统计窗口中有效背景像元个数; $\overline{T_4}$ 为 4 μm 波段背景火点像元的均值; $\overline{\delta_4}$ 为 4 μm 波段背景火点像元亮度温度的平均绝对偏差。如果目标像元同时满足上述全部条件,则被判定为沙漠边缘的虚假火点。

3.4.4 非耕地区域火点的去除

根据上文提取的火点数据并结合土地利用类型数据,提取耕地区域的火点,即为研究区域的秸秆焚烧火点。

3.5 GDAL 算法实现

GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)是一个在 X/MIT 许可协议下读写空间数据(包括

栅格数据和矢量数据)的开源库,它利用抽象数据模型来表达所支持的各种文件格式,还使用一系列命令行工具来进行数据转换和处理。GDAL 最初是由 Frank Warmerdam 于 1998 年开始开发的,在 GDAL1.3.2 版本之后,正式由开源空间信息基金会(Open Source Geospatial Foundation,简称 OSGeo)下的 GDAL/OGR 项目管理委员会对其进行维护^[19]。本文利用 C++调用 GDAL 开源库的方式进行秸秆焚烧火点的提取。

4 研究结果与分析

4.1 空间精度分析

本文通过视觉分析的方式对本文的秸秆焚烧火点的监测结果进行分析,图 1 为选取的 2014 年 10 月 6 日火点分布样例图,由图 1 可以看到,在秸秆焚烧严重的地区,火点分布比较集中,在真彩色图像上的对应位置可以看到明显的白色烟羽和亮点,说明本算法的探测结果能够很好地反映真实秸秆焚烧火点的空间分布状态。

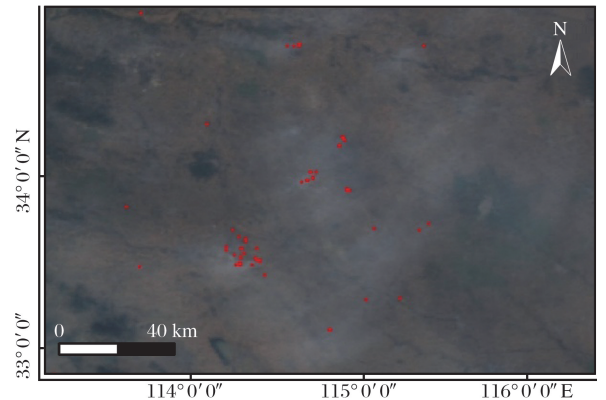


图 1 2014 年 10 月 6 日火点分布样例图

Fig.1 The sample figure of fire point distribution in October 6, 2014

图 2 是中华人民共和国环境保护部发布的 2014 年 10 月 6 日全国秸秆焚烧火点日报,图 3 是本算法计算的 2014 年 10 月 6 日华中区域火点监测结果。两张图可以明显的看到本算法监测的火点的空间分布与环境保护部发布的结果基本一致。

4.2 定量精度分析

基于研究区域 2014 年 10 月 1 日至 31 日共 48 景 MODIS(选取的是 AQUA)数据,将本算法所探测的火点数目和与之对应 MODIS 标准火点产品(MYD14)的火点数目进行对比分析。如图 4 所示,本算法探测的火点在数量上与 MYD14 产品比较接近,但由于二者在云检测算法、背景窗口大小及关键

阈值选取等方面都不相同,使得二者探测的火点数目存在一定的差别,本文算法的火点数通常小于 MYD14,这是由于 MYD14 产品算法阈值的选取是针对全球尺度的,而本算法中相关阈值的选取是针对研究区域的,因此本算法更适合研究区域的火点的反演。

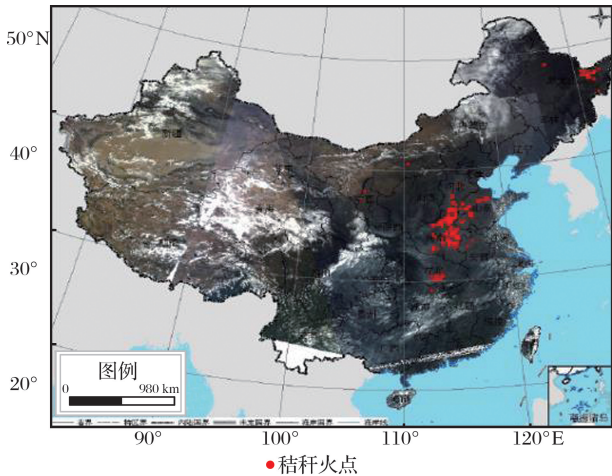


图 2 全国秸秆焚烧火点卫星遥感监测图(2014-10-06)

Fig.2 The figure of crop straw fire remote sensing monitoring in China (2014-10-06)

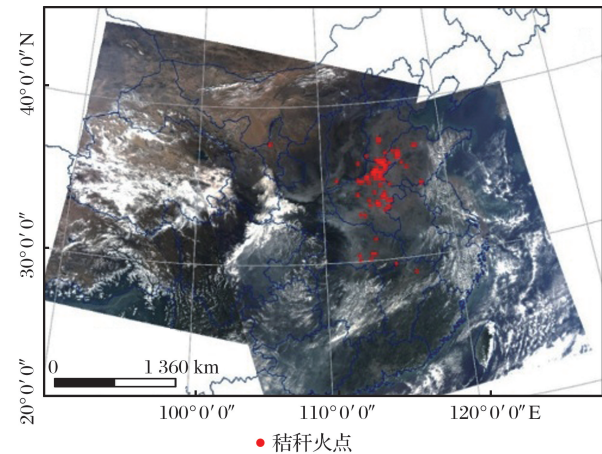


图 3 研究区域秸秆焚烧卫星遥感监测图(2014-10-06)

Fig.3 The figure of crop straw fire remote sensing monitoring in result region (2014-10-06)

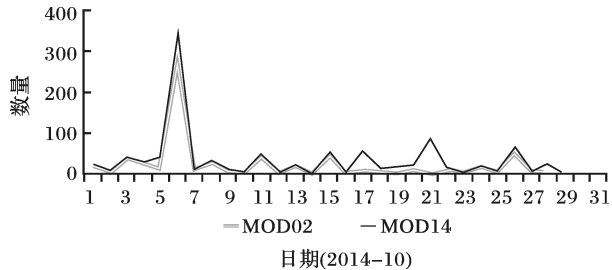


图 4 火点精度验证对比图

Fig.4 The accuracy verification comparison figure of fire

5 结 语

本文主要以 2014 年 10 月的 MODIS L1B 产品为数据源,利用增强型上下文火点监测方法构建研究区域火点监测,结合研究区域土地覆盖分类图实现了对华中区域秸秆焚烧火点的识别。主要结论如下。

(1)利用增强型上下文火点监测方法进行火点的监测考虑了白天和夜晚两种方式,并进行虚假火点的有效去除,热异常火点的监测结果满足基本需求。(2)利用研究区域的土地利用分类数据能够很好地对非耕地区域的热异常点进行剔除,最终获取秸秆焚烧火点的结果。(3)GDAL 开源库能够很好地解析 MODIS 数据,整个算法运算速度快,能够很好地实现业务化运行。

本文对于秸秆焚烧火点的提取结果产生误判和漏判的原因主要有数据本身各种噪声引起的误差以及算法本身的误差。虽然算法本身对虚假火点进行剔除,但是由于 MODIS 数据是光学遥感影像数据,云的影响无法避免,使得云层下面的火点无法识别。算法中考虑了白天和夜晚的区别,但是不同季节也会有些许偏差,今后的研究中重点在这方面进行研究讨论,以提高火点的提取精度。

参考文献(References):

[1] Han Lujia, Yan Qiaojuan, Liu Xiangyang, *et al.* Straw Resources and Their Utilization in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(3): 87-91. [韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 87-91.]

[2] Cui Ming, Zhao Lixin, Tian Yishui. Analysis and Evaluation on Energy Utilization of Main Crop Straw Resource in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(12): 291-296. [崔明, 赵立欣, 田宜水. 中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 291-296.]

[3] Zhang Feng, Wu Bingfang, Liu Chenglin, *et al.* Methods of Monitoring Crop Phenological Stages Using time Series of Vegetation Indicator [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(1): 155-159. [张峰, 吴炳方, 刘成林, 等. 利用时序植被指数监测作物物候的方法研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 155-159.]

[4] Chen Jie, Zheng Wei, Gao Hao, *et al.* Estimation Method of Straw Burned Area based on Multi-source Satellite Remote Sensing [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(3): 207-214. [陈洁, 郑伟, 高浩, 等. 多源卫星遥感农作物秸秆焚烧过火区面积估算方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 207-214.]

[5] Prins E M, Menzel W P. Monitoring Biomass Burning and Aerosol Loading and Transport from a Geostationary Satellite

- Perspective [C]//Seventh Symposium on Global Change Studies, Atlanta, GA, 1996: 160-166.
- [6] Li Z, Kaufman Y, Ichoku C, *et al.* A Review of AVHRR-based Active Fire Detection Algorithms: Principles, Limitations, and Recommendations, Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space: Planning a Coordinated International Effort[M]. SPB-Academic Publishing the Hague, the Netherlands, 2000.
- [7] Pu R, Gong P, Li Z, *et al.* A Dynamic Algorithm for Wildfire Mapping with NOAA/AVHRR Data[J]. International Journal of Wildland Fire, 2004, 13: 275-285.
- [8] Gong P, Pu R L, Li Z Q, *et al.* Integrated Approach to Wildland Fire Mapping of California, USA Using NOAA/AVHRR Data[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2006, 72: 139-150.
- [9] Louis Giglio, Jacques Descloitres, Christopher O, *et al.* An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 87: 273-282.
- [10] Wang Zifeng, Chen Liangfu, Gu Xingfa, *et al.*, Monitoring of Crop Residue Burning in North China on the Basis of MODIS Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(6): 611-617. [王子峰, 陈良富, 顾行发, 等. 基于 MODIS 数据的华北地区秸秆焚烧监测[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(6): 611-617.]
- [11] Zhang J, Yao F, Liu C, *et al.*, Detection, Emission, Estimation and Risk Prediction of Forest Fires in China Using Satellite Sensors and Simulated Model in the Past Three Decades - An Overview[J]. International Journal of Research Public Health, 2011, 8: 3156-3178.
- [12] Wang Qiao, Li Qing, Chen Liangfu, *et al.* Atmospheric Environment Satellite Remote Sensing Technology and Application [M]. Beijing: Science Press, 2011. [王桥, 厉青, 陈良富, 等. 大气环境卫星遥感技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2011.]
- [13] Tian Qingjiu, Wang Ling, Bao Ying, *et al.*, A Straw Extraction and Straw-burning Fire Detection Mode Using HJ-1B Satellite Measurements[J]. Science China Press, 2011, (41): 117-127. [田庆久, 王玲, 包颖, 等. 基于 HJ-1B 卫星的作物秸秆提取及其焚烧火点判定模式[J]. 中国科学: 信息科学, 2011, (41): 117-127.]
- [14] Yang Shanrong, Li Hu, Yu Tao, *et al.*, Principle of Identifying Crop Straw Fire based on MODIS and Its Algorithm Implementation Using IDL Language[J]. Remote Sensing Information, 2009, (2): 91-97. [杨珊荣, 李虎, 余涛, 等. 基于 MODIS 的秸秆焚烧火点识别原理及算法 IDL 实现[J]. 遥感信息, 2009, (2): 91-97.]
- [15] Li Yachun, Zhang Xuhui, Wu Hongyan, *et al.* An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm based on Remote Sensing Images[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(9): 1627-1632. [李亚春, 张旭晖, 吴洪颜, 等. 一种增强的基于上下文火点遥感影像识别方法[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(9): 1627-1632.]
- [16] Gong P, Wang J, Yu L, *et al.* Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover: First Mapping Results with Landsat TM and ETM+ Data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2013, 34(7): 2607-2654.
- [17] Yu L, Wang J, Gong P, Improving 30 Meter Global Land Cover Map FROM-GLC with Time Series MODIS and Auxiliary Datasets: A Segmentation based Approach[J]. International Journal of Remote Sensing, 2013, 34(16): 5851-5867.
- [18] Stroppiana D, Pincock S, *et al.* The Global Fire Product: Daily Fire Occurrence from April 1992 to December 1993 derived from NOAA AVHRR Data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000(21): 1279-1288.
- [19] Li Minlu. GDAL Source Code Analysis and Development Guide [M]. Beijing: People Post Press, 2014. [李民录. GDAL 源码剖析与开发指南[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014.]

Crop Straw Fire Remote Sensing Monitoring and Its Algorithm Implementation

Xu Qingyun^{1,2}, Gu Weiwei^{1,2}, Xie Tao^{1,2}, Liu Rui^{1,2}

(1. China Sciences Map Universe Technology Co., Ltd (MAPUNI), Beijing 100101, China;

2. Institute of Resources and Environment Science (IRES), MAPUNI, Beijing, 100101, China)

Abstract: In order to obtain the information and achieve the effective control of crop straw fire spatial distribution in Central China Region. The MODIS L1B remote sensing datasets during 2014 for the main data source in this article, and combined with land use data, the farmland of Central China Region was taken as study region. Based on the enhanced contextual fire remote sensing detection algorithm, and make full use of the theoretical knowledge of quantitative remote sensing and Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) and other technical means, to achieve the crop straw fire recognition in Central China Region. Using Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China release the daily newspaper of crop straw fire in China and the standard fire products (MYD14) of MODIS for the comparative analysis of the quantitative and spatial. The results indicate that the algorithm of this paper can achieve crop straw fire remote sensing monitoring of this study region effectively, and the parameters can be adjusted in real time based on the characteristic of the study region, and improve the automation and working efficiency of crop straw fire monitoring.

Key words: MODIS; Crop straw fire; Remote sensing; GDAL